

Estudo da taxa de corrosão de armaduras em betões com ACBC

Almeida, Fernando Do Couto Rosa ; Sales, A; Moretti, J.P.; Mendes, P.C.; Mascaro, L.H.; Klemm, Agnieszka

Published in:
II Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Publication date:
2016

Document Version
Author accepted manuscript

[Link to publication in ResearchOnline](#)

Citation for published version (Harvard):

Almeida, FDCR, Sales, A, Moretti, JP, Mendes, PC, Mascaro, LH & Klemm, A 2016, Estudo da taxa de corrosão de armaduras em betões com ACBC. in *II Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão*. LNEC, Lisbon, II Luso-Brazilian Conference of Degradation of Concrete Structures, Lisbon, Portugal, 27/09/16.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please view our takedown policy at <https://edshare.gcu.ac.uk/id/eprint/5179> for details of how to contact us.



IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa - LNEC - 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

ESTUDO DA TAXA DE CORROSÃO DE ARMADURAS EM BETÕES COM ACBC

Fernando C. R. Almeida¹, Almir Sales², Juliana P. Moretti³, Paulo C. D. Mendes⁴, Lucia H. Mascaro⁵,
Agnieszka J. Klemm⁶

¹School of Engineering and Built Environment, Glasgow Caledonian University, fernando.almeida@gcu.ac.uk

²Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, almir@ufscar.br

³PPGECiv, Universidade Federal de São Carlos, julianamoretti88@gmail.com

⁵PPGQ, Universidade Federal de São Carlos, paulaocdm@gmail.com

⁴Departamento de Química, Universidade Federal de São Carlos, lmascaro@ufscar.br

⁶School of Engineering and Built Environment, Glasgow Caledonian University, a.klemm@gcu.ac.uk

RESUMO

Este trabalho buscou avaliar a taxa de corrosão de armaduras em betões produzidos com a ACBC (areia de cinza do bagaço da cana-de-açúcar) em substituição parcial ao agregado miúdo (areia natural). Foram moldados corpos de prova de betão armado, com traço de 1,00:2,01:2,86, considerando substituição de 0%, 30% e 50% da areia natural pela ACBC. As amostras foram submetidas a ensaios acelerados de corrosão por ação de cloretos, por meio de ciclos alternados de secagem e umedecimento em solução salina 3,5% NaCl. Testes de resistência à compressão (antes e após os ciclos de envelhecimento) e de penetração de cloretos foram realizados. Durante os ciclos de envelhecimento, as amostras foram monitoradas por meio de potencial de circuito aberto até que as armaduras se encontrassem em um estado ativo de corrosão. Ao final de 24 semanas (ciclos), a taxa de corrosão das armaduras foi verificada por meio de curvas de polarização potenciodinâmica. Os resultados indicaram que a ACBC aumenta a resistência à compressão, diminui a penetração de cloretos e retarda a iniciação do processo corrosivo. Adicionalmente, betões com até 30% de substituição da areia natural pela ACBC podem manter o nível de propagação da corrosão similar daquele verificado para uma amostra de referência.

Palavras-chave: Areia de cinza do bagaço da cana-de-açúcar (ACBC) / Durabilidade / Betão armado / Taxa de corrosão



IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa - LNEC - 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e o principal exportador de seus derivados (açúcar e etanol). Um dos principais resíduos gerados no processo industrial do setor sucroalcooleiro é a areia de cinza do bagaço da cana-de-açúcar (ACBC), derivada da queima do bagaço da cana nas caldeiras para cogeração de energia elétrica. Estima-se que 4 milhões de toneladas de ACBC seja gerados por ano no Brasil, os quais são geralmente descartados nas lavouras de cana, mesmo sendo pobre em nutrientes (Sales e Lima 2010, Bessa 2011, CONAB 2014, Almeida et al 2015).

A ACBC tem grande potencial de ser aplicado como matéria prima em matrizes cimentícias (Almeida 2013, Almeida et al. 2014, Almeida et al. 2015, Bessa 2011, Chi 2012, Cordeiro et al. 2009, Ganesan et al. 2007, Lima et al 2011, Modani e Vyawahare 2013, Moretti et al. 2016, Oliveira et al. 2010, Sales e Lima 2010, Sarmento e Vanderlei 2011). Entretanto, a durabilidade de betões com materiais alternativos demanda uma atenção especial, em particular quanto à corrosão de armaduras. Esta é uma das principais preocupações na utilização de resíduos quanto à degradação de estruturas de betão. O processo corrosivo se inicia quando ocorre a desp passivação da armadura e se propaga na presença de um meio propício.

Diferentes técnicas eletroquímicas podem ser utilizadas para avaliar o potencial e a cinética de corrosão de armaduras em betão, tais como medidas de potencial de circuito aberto e polarização (Cascardo 1997; Bertolini 2010, Ribeiro 2010, Ribeiro et al. 2012, Ribeiro et al 2013). A primeira medida, considerada não perturbativa e de caráter qualitativo, constitui-se como um dos principais procedimentos para monitorar estruturas de betão armado em relação à probabilidade de corrosão de armaduras. A técnica de polarização, por sua vez, é considerada um método quantitativo perturbativo no qual estímulos são enviados de fontes externas ao eletrodo de trabalho. Este procedimento é capaz de estimar a taxa com que a corrosão se propaga na armadura por meio de curvas de polarização potenciodinâmicas. Estas curvas tratam da resposta de corrente na varredura catódica e anódica em função do potencial aplicado utilizando uma baixa velocidade de varredura. Ambas as técnicas identificam a transferência de carga elétrica entre o aço e a solução contida nos poros do betão (interface aço/betão). Desta forma, é esperado que a incorporação de materiais alternativos no betão, como ACBC, possam interferir na iniciação e propagação do processo corrosivo.



IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa - LNEC - 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Este trabalho busca, portanto, avaliar a taxa de propagação da corrosão de armaduras em em betões produzidos com a ACBC em substituição parcial ao agregado miúdo. Para isso, foram utilizadas técnicas eletroquímicas de potencial de circuito aberto e curvas de polarização em amostras submetidas a ciclos de envelhecimento acelerado por ação de cloretos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de ACBC foram coletadas em usinas do Estado de São Paulo, Brasil e padronizadas conforme procedimento definido por Sales e Lima (2010). A ACBC apresentou predominantemente estrutura cristalina de quartzo-alfa – $\text{SiO}_2(\alpha)$, cujos valores da análise química (antes e depois da padronização) estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química da ACBC (teor em massa, %)

Elementos	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	TiO ₂	Na ₂ O	MnO	SO ₃	Perda ao fogo
ACBC in natura	80,2	5,6	4,0	2,6	1,8	1,6	1,4	1,4	0,2	0,2	0,1	0,8
ACBC padronizada	80,8	5,8	3,9	2,5	1,6	1,5	1,4	1,3	0,2	0,1	0,1	0,7

A caracterização física da ACBC, bem como a dos agregados convencionais (areia natural e pedra britada), é apresentada na Tabela 2. As composições finais do agregado miúdo utilizado, ou seja, areia natural e ACBC, nos teores de 30% e 50% de substituição, se enquadraram dentro da zona utilizável definida pelos limites granulométricos da NBR 7211 (2009).

Tabela 2 – Caracterização física dos agregados utilizados

Propriedades	ACBC	Areia natural	Pedra britada
Massa específica (kg/m ³)	2.570	2.450	2.630
Massa unitária (kg/m ³)	1.691	2.041	1.578
Absorção de água (%)	0,9	0,5	0,3
Dimensão máxima característica (mm)	1,18	6,3	19
Módulo de finura	1,15	2,32	1,49
Teor de material pulverulento (%)	16,2	-	-

Corpos de prova de betão armado e não armado foram moldados com traço padrão de 1,00:2,01:2,86 (Sales e Lima 2010), considerando substituição (em massa) de 0%, 30% e



IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa - LNEC - 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

50% da areia natural pela ACBC (Tabela 3). Para a produção das amostras, foram utilizados cimento Portland composto com escória de alto forno (CP II E 32), e barras de aço CA-60 de 5 mm de diâmetro nominal padronizadas conforme ASTM G1-03 (2011).

Tabela 3 – Traços para a produção dos betões

Traço/ nomenclatura	Teor de ACBC	Proporção de materiais (em massa)					Consistência (mm)
		Cimento	Areia	ACBC	Brita	Água	
CR	0%	1,000	2,010	-	2,860	0,52	90 ± 10
C30	30%	1,000	1,407	0,603	2,860	0,53	87 ± 10
C50	50%	1,000	1,005	1,005	2,860	0,54	85 ± 10

As amostras de betão foram mantidas em câmara úmida (umidade relativa de 95% ± 5%) por 28 dias (NBR 5738:2003) e, em seguida, submetidas a ciclos de envelhecimento acelerado por ação de cloretos. Cada ciclo, que correspondia a uma semana, foi composto por um semiciclo de secagem em estufa a 50° ± 5°C (período de cinco dias) e um semiciclo de umedecimento por imersão em solução salina de NaCl 3,5% de concentração (período de dois dias).

Corpos de prova cilíndricos de betão não armados (dimensões Φ100 x 200 mm) foram submetidos a ensaio de resistência à compressão (NBR 5739:2007) aos 28 dias (após cura, antes dos ciclos de envelhecimento) e 168 dias (após ciclos de envelhecimento em solução salina). Nesta idade, ainda, a frente de penetração de cloretos foi verificada por meio do método colorimétrico (AASHTO T259:1980); aspersão de solução de nitrato de prata (AgNO₃) e fluoresceína sobre a superfície interna do betão (rompida diametralmente).

Três corpos de prova prismáticas de betão armado, com dimensões 50 x 70 x 100 mm, contendo 2 barras de aço CA-60 cada, preparados conforme Almeida (2013), foram submetidos a ciclos de envelhecimento acelerado por ação de cloretos. As amostras foram monitoradas por meio de medidas de potencial de circuito aberto (E_{oc}), a cada semiciclo de secagem e umedecimento (Almeida et al 2014). Para isso, foi utilizado um voltímetro de alta impedância de entrada (multímetro digital da marca Minipa, modelo ET 2076). Ao final de 24 semanas (168 dias), todos os eletrodos de trabalho (barras de aço) se encontravam no estado de corrosão ativo definido pela ASTM C876-91 (2009). Ou seja, as medidas de potencial de circuito aberto apresentaram valores inferiores a -254 mV vs. eletrodo de referência de Ag/AgCl/KCl_{sat}. Neste estágio, as curvas de polarização potenciodinâmicas foram obtidas por meio de um potenciostato/galvanostato PGSTAT mod. 20 da Autolab,



IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa - LNEC - 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

utilizando um eletrodo de referência de $Ag/AgCl/KCl_{sat}$ e um eletrodo auxiliar de titânio. As curvas de polarização foram analisadas apenas para as amostras que apresentaram os menores valores de potencial de corrosão, dentre os três corpos de prova de cada traço (considerando a média dos dois eletrodos de trabalho em cada amostra). Os eletrodos de trabalho foram polarizadas em torno do E_{oc} , o qual indica o equilíbrio do sistema onde as correntes anódicas e catódicas são de igual magnitude e, portanto, a corrente total resultante é nula. A varredura linear se deu no sentido anódico a 0,5 mV/s, partindo do potencial mais negativo ($E_{oc} - 350mV$) e terminando no potencial mais positivo ($E_{oc} + 350mV$).

Os valores de corrente de corrosão (I_{corr}) e do potencial de corrosão (E_{corr}) foram obtidos pelas retas de Tafel (logaritmo do módulo da corrente pelo potencial). A densidade de corrente ($i_{corr.dens}$) e a taxa de corrosão ($i_{corr.taxa}$) dos eletrodos de trabalho, em $\mu A/cm^2$ e $\mu m/ano$ respectivamente, foram obtidas a partir das Eqs. (1) e (2) (Ismail e Soleymani 2002):

$$i_{corr.dens} [\mu A/cm^2] = \frac{I_{corr}}{A} \quad (1)$$

$$i_{corr.taxa} [\mu m/ano] = \frac{3,27 * I_{corr} * EW}{A * d} \quad (2)$$

onde I_{corr} é a corrente de corrosão (μA); A é a área de exposição da barra de aço, sendo adotado para o ensaio o valor de 15,83 cm^2 ; EW é a massa da parte não revestida da barra sujeita à corrosão, sendo adotado o valor de 6,15 g; d é a densidade, sendo adotado para o aço CA-60 o valor de 7,85 g/cm^3 .

O grau de corrosão de cada eletrodo de trabalho foi classificado a partir dos critérios definidos por Andrade e Alonso (2001).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão das amostras de betão realizados nas idades de 28 dias (antes dos ciclos) e 168 dias (depois dos ciclos) estão apresentados na Fig. 1.

Aos 28 dias, o uso da ACBC levou a um aumento de resistência à compressão na ordem de 8% e 11%, para os betões com 30% e 50% de substituição da areia natural, respectivamente. Aos 168 dias, após ciclos de envelhecimento, a incorporação da ACBC resultou em um aumento de 4% e 14%, respectivamente para as amostras C30 e C50 em relação ao betão de referência (CR). O aumento de resistência em betões com ACBC pode ser atribuído ao preenchimento de microporos com a areia de cinza, como concluído por Almeida et al. (2015). Além do efeito *filler*, uma mínima pozolanicidade da cinza contida na



IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa - LNEC - 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

ACBC pode ter contribuído para esse efeito positivo na resistência mecânica, conforme verificado por outros autores (Ganesan et al. 2007, Cordeiro et al. 2009, Oliveira et al. 2010, Chi 2012).

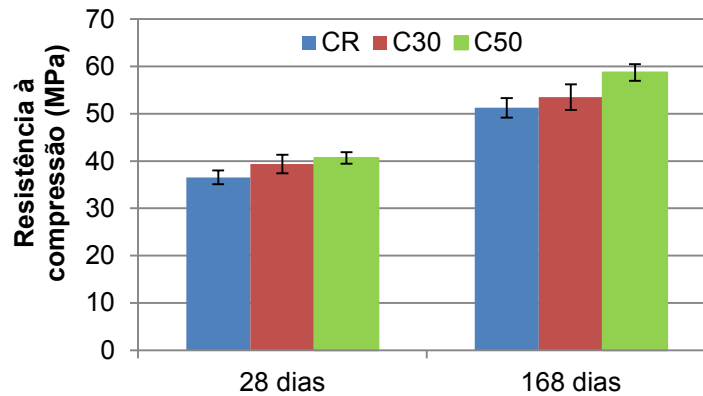


Fig. 1 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão

Os resultados da penetração de cloretos nos betões após 24 ciclos de envelhecimento são apresentados na Tabela 4. O método qualitativo indica a presença de cloretos na forma de íons livres, que são os que efetivamente causam preocupação quanto à corrosão.

Tabela 4 – Resultados da espessura de penetração de cloretos dos betões

Traço	Espessura da frente (mm)	Desvio Padrão (mm)	Coefficiente de variação (%)
CR	27,58	1,74	6%
C30	21,45	1,56	7%
C50	19,37	0,84	4%

Dessa forma, a incorporação da ACBC provocou influência significativa na profundidade de penetração de cloretos nos betões; quanto maior o teor de ACBC na mistura, menor foi a espessura da frente de cloretos. Este efeito pode estar relacionado à diminuição dos poros e da interconectividade dos capilares pela incorporação do resíduo (Chindaprasirt et al. 2008, Almeida et al. 2015). A difusão iônica pode ser considerada o principal processo de transporte de íons Cl^- em betões com ACBC. Além disso, produtos da reação entre NaCl e compostos da ACBC (incluindo Fe_2O_3 , Al_2O_3 and Pb^{2+}) podem ter precipitado durante a imersão das amostras em solução salina, levando a formação de barreiras contra a penetração de cloretos (Almeida et al. 2015).

O monitoramento do potencial de circuito aberto durante os ciclos de envelhecimento em solução salina é mostrado na Fig. 2. Os valores apresentados são uma média dos seis valores obtidos para cada composição (2 eletrodos de trabalho e 3 corpos de prova). Não



IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa - LNEC - 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

foram colocadas as barras de desvios padrão nos gráficos, pois estas barras os tornariam bastante confusos e de difícil visualização. Contudo, pode-se afirmar que os resultados foram altamente reprodutíveis, com variação inferior a 10% para todos os teores. Após 21 semanas, todos os eletrodos de trabalho claramente se encontravam no estado ativo de corrosão de acordo com critérios definidos pela ASTM C876-91 (2009). Ou seja, valores abaixo de -254mV vs $\text{Ag}/\text{AgCl}/\text{KCl}_{\text{sat}}$ indicam uma probabilidade de corrosão maior que 90%.

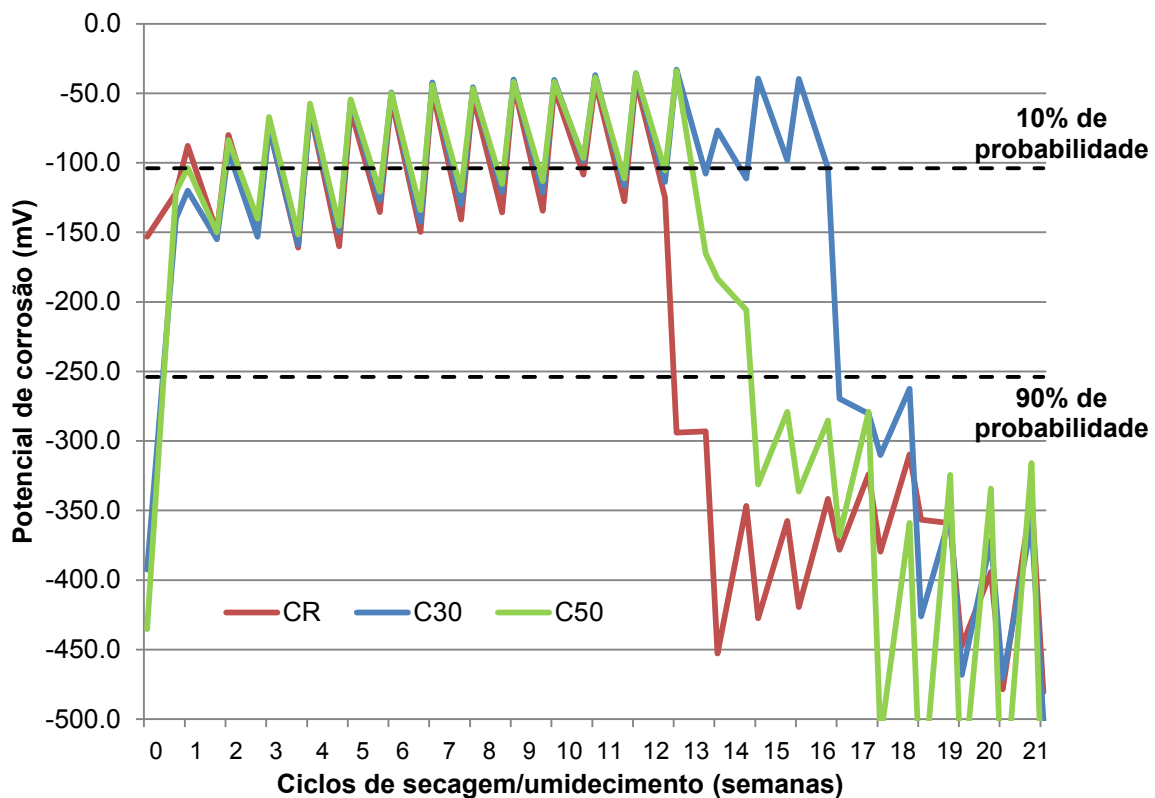


Fig. 2 – Evolução do potencial de circuito aberto das barras dos corpos de prova de betão

Em geral, durante o período de passivação, os eletrodos de trabalho apresentaram valores de potencial de circuito aberto entre -160 mV e $-33,8\text{ mV}$. Quando se verificou o rompimento da camada passivadora o potencial de circuito aberto apresentou uma queda abrupta para todas as amostras. O betão referência (CR) foi o primeiro a apresentar um rompimento da camada passivadora do eletrodo de trabalho, visto que o potencial de corrosão limite foi atingido na 13ª semana de ensaio. A amostra C50 iniciou o processo de propagação da corrosão na 15ª semana. A última amostra a apresentar um rompimento no filme passivador foi o betão C30, com 30% de substituição da areia natural por ACBC, verificado na 17ª semana (Almeida et al 2014). Esse retardo no tempo de despassivação da armadura pode estar relacionado ao aumento da alcalinidade do betão pela ACBC e pela influência física da



IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa - LNEC - 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

ACBC no preenchimento dos microporos, principalmente no teor de 30% (Bessa 2011, Almeida et al 2015).

As curvas de polarização linear são mostradas na Fig. 3 onde o sobrepotencial foi calculado em torno do potencial de circuito aberto $E_{oc} \pm 350$ mV. O desvio do E_{oc} (onde teoricamente a taxa de oxidação é igual à taxa de redução) em torno da coordenada (0,0) pode ser atribuído especialmente à queda ôhmica do betão.

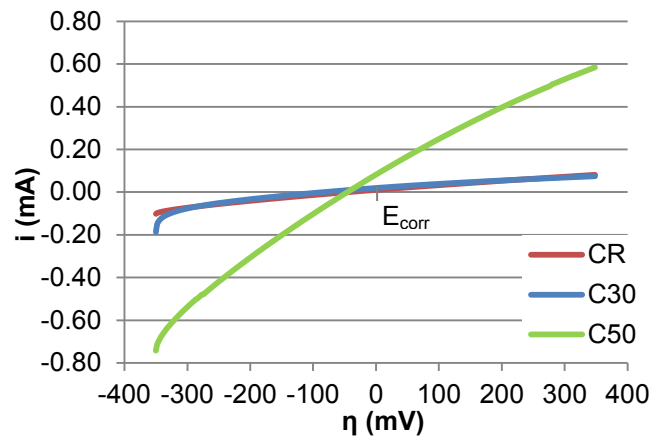


Fig. 3 – Curvas de polarização potenciodinâmica das armaduras nos betões (escala linear)

Em uma análise qualitativa observou-se a dissolução ativa do Ferro, sendo que a amostra C50 apresentou valores de corrente mais elevados tanto no sentido anódico (valores positivos de η) como no catódico (valores negativos de η). Já as amostras CR e C30 apresentaram comportamentos muito semelhantes entre si. As taxas de corrosão são diretamente proporcionais às correntes de corrosão, ou seja, maiores valores de corrente elétrica passante no sistema podem indicar uma maior velocidade de corrosão. Desta forma, as velocidades de corrosão foram maiores para o C50 e similares para o CR e o C30.

Para se obter os valores das taxas de corrosão de cada eletrodo, considerando imersões em diferentes betões, foram elaboradas as curvas de polarização potenciodinâmicas em escala logarítmica (Fig. 4). A partir delas, foi possível traçar as retas de Tafel pela extrapolação do trecho linear verificado nas variações anódicas e catódicas.

A partir dos valores de E_{corr} e I_{corr} obtidos pela intersecção das retas de Tafel, foram calculadas as taxas de corrosão dos eletrodos de trabalho (Tabela 5).

Pela análise quantitativa, verifica-se que a amostra C50 apresentou a maior taxa de corrosão entre os betões estudados (cerca de 10 vezes maior do que a taxa verificada para a amostra referência). As amostras CR e C30 não apresentaram diferenças significativas nos valores de velocidade de corrosão.



IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa - LNEC - 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

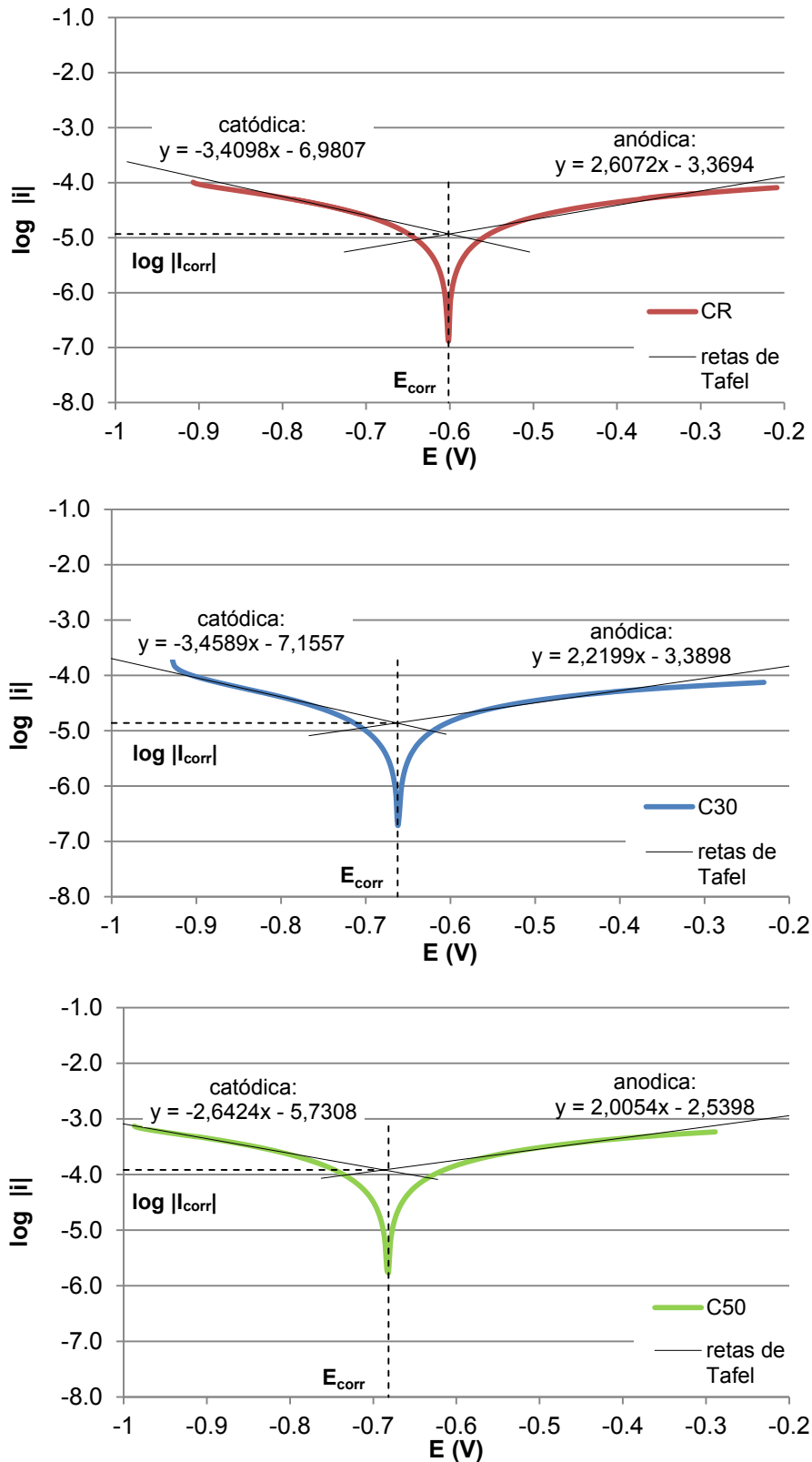


Fig. 4 – Curvas de polarização potenciodinâmica das armaduras (escala logarítmica)



IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa - LNEC - 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Tabela 5 – Resultados das taxas de corrosão das armaduras nos betões

Traço	E_{corr} (mV)	$\log i_{\text{corr}} $	I_{corr} (μA)	$i_{\text{corr.dens.}}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$i_{\text{corr.taxa}}$ ($\mu\text{m}/\text{ano}$)
CR	-600,2	-4,9	11,6	0,7	1,9
C30	-663,2	-4,9	13,7	0,9	2,2
C50	-686,6	-3,9	121,2	7,7	19,6

A partir dos resultados foi possível classificar as taxas de corrosão obtidas em cada amostra de acordo com critérios apresentados por Andrade e Alonso (2001). As amostras CR e C30 apresentaram valores de densidade de corrente entre 0,5 e 1,0 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$. Deste modo, a corrosão destas barras pode ser classificada em um nível moderado, mas não severo. Já a amostra C50, por apresentar um valor de densidade de corrente maior do que 1,0 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, pode ser definida como um nível alto de corrosão, como no caso da formação de pites observado para esta amostra (Fig. 5).



Fig. 5 – Pites de corrosão das armaduras (amostras C50)

O aumento da cinética de corrosão nas amostras estudadas pode estar relacionada com o aumento da condutividade elétrica proporcionado pela ACBC no betão. Em estudos experimentais, Almeida (2013) verificou que a condutividade elétrica da solução aquosa dos poros da argamassa com ACBC é maior do que a da argamassa de referência. Desta forma, maiores teores de ACBC no betão (em torno de 50% de substituição) podem ter contribuído para a propagação da corrosão em maior velocidade devido ao aumento da mobilidade iônica na mistura.

Apesar de a ACBC ter provocado um retardo no início do processo de corrosão, verificado pelo ensaio de potencial de circuito aberto, este processo, após iniciado, se desenvolveu em velocidades maiores em betões contendo o resíduo. Este efeito foi ainda mais expressivo para teores superiores a 30% de substituição. Ou seja, a incorporação da ACBC levou ao retardo da probabilidade de ocorrência da corrosão, mas quando esta se iniciou, a taxa com que a corrosão se desenvolveu foi maior nos betões com elevados teores de ACBC.



IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa - LNEC - 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

4. CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos no estudo experimental, é possível concluir:

- A incorporação de ACBC aumenta a resistência à compressão do betão e diminui a frente de penetração de cloretos quando comparados a uma mistura de referência. Este resultado positivo pode ser atribuído principalmente ao preenchimento dos microporos do betão pela ACBC;
- A presença da ACBC leva ao retardo da probabilidade de ocorrência da corrosão. Entretanto, após o rompimento do filme passivador, a taxa com que a corrosão se desenvolve é maior para betões com teores superiores a 30% de ACBC, quando comparados a amostras de referência. Este efeito pode estar relacionado ao aumento da condutividade elétrica proporcionado pela areia de cinza na solução aquosa dos poros. Assim, teores de até 30% de substituição pela ACBC podem manter o nível de propagação da corrosão similar daquele verificado para uma amostra sem ACBC;
- Os betões com substituição do agregado miúdo convencional pela ACBC em até 30% podem ser aplicados em elementos estruturais, com aumento de desempenho mecânico (resistência à compressão) e de durabilidade (penetração de cloretos e potencial de corrosão).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, ao CNPq e à FAPESP pelo apoio financeiro.

5. REFERÊNCIAS

- AASHTO-T259. 1980. Standard method of test for resistance of concrete to chloride ion penetration.
- ABNT NBR 5738: NORMA BRASILEIRA. 2003. Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto.
- ABNT NBR 5739: NORMA BRASILEIRA. 2007. Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.
- ABNT NBR 7211: NORMA BRASILEIRA. 2009. Agregados para concretos.
- Almeida, F.C.R. 2013. Avaliação do potencial de corrosão de armaduras em concretos com substituição parcial do agregado miúdo pela areia de cinza do bagaço da cana-de-açúcar – ACBC, 206p., Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São Carlos.
- Almeida, F.C.R., Sales, A., Moretti, J.P., Mendes, P.C.D. 2015. Sugarcane bagasse ash sand (SBAS): Brazilian agroindustrial by-product for use in mortar, *Construction and Building Materials*, 82, p. 31-38.
- Almeida, F.C.R., Sales, A., Moretti, J.P., Mendes, P.C.D., Mascaro, L.H. 2014. Avaliação do potencial de corrosão de armaduras em concretos com a ACBC por meio de medidas de de potencial de circuito aberto, *Politécnica (Instituto Politécnico da Bahia)*, 21, p. 52-66.



IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa - LNEC - 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

- Andrade, C., Alonso, C. 2001. On-site measurements of corrosion rate of reinforcements, *Construction and Building Materials*, 15, p. 141-145.
- ASTM C876-91. 2009. Standard test method for half-cell potentials of uncoated reinforcing steel in concrete.
- ASTM G1-03. 2011. Standard practice for preparing, cleaning, and evaluating corrosion test specimens.
- Bertolini, L. 2010. *Materiais de construção: patologia, reabilitação e prevenção*, 1ed., Oficina de Textos, São Paulo, 414 p.
- Bessa, S.A.L. 2011. Utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como agregado miúdo em concretos para artefatos de infraestrutura urbana, 181p., Tese (Doutorado), Universidade Federal de São Carlos.
- Cascudo, O.M. 1997. *O Controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas*, 2ed, PINI, São Paulo, 237 p.
- Chi, M.C. 2012. Effects of sugarcane bagasse ash as a cement replacement on properties of mortars, *Science and Engineering of Composite Materials*, 19 (3), p. 279-285.
- Chindapasirt, P., Rukzon, S., Sirivivatnanon, V. 2008. Resistance to chloride penetration of blended Portland cement mortar containing palm oil fuel ash, rice husk and fly ash, *Construction and Building Materials*, 22, p. 932-938.
- CONAB: COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. 2014. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar: Primeiro levantamento da safra 2014/15, 1(1), Brasília, 20p.
- Cordeiro, G.C., Toledo Filho, R.D., Tavares, L.M., Fairbairn, E.M.R. 2009. Ultrafine grinding of sugar cane bagasse ash for application as pozzolanic admixture in concrete, *Cement and Concrete Research*, 39, p.110-155.
- Ganesan, K., Rajagopal, K., Thangavel, K. 2007. Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material, *Cement and Concrete Composites*, 29 (6), p. 515-524.
- Ismail, M.E., Soleymani, H.R. 2002. Monitoring corrosion rate for ordinary Portland concrete (OPC) and high-performance concrete (HPC) specimens subjected to chloride attack, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 29, p. 863-874.
- Lima, S. A., Sales, A., Almeida, F.C.R., Moretti, J.P., Portella, K.F. 2011. Concretos com cinza do bagaço da cana-de-açúcar: avaliação da durabilidade por meio de ensaios de carbonatação e abrasão. *Ambiente Construído*, 11 (2), p. 201-212.
- Modani, P.O., Vyawahare, M.R. 2013. Utilization of bagasse ash as a partial replacement of fine aggregate in concrete. *Procedia Engineering*, 51, p. 25-29.
- Moretti, J.P., Sales, A., Almeida, F.C.R., Rezende, M.A.M., Gromboni, P.P. 2016. Joint use of construction waste (CW) and sugarcane bagasse ash sand (SBAS) in concrete, *Construction and Building Materials*, 113, p. 317-323.
- Oliveira, M.P., Tinoco, I.F.F. Rodrigues, C.S., Saraz, J.A.O. 2010. Sugarcane bagasse ash as a partial Portland cement replacement material, *Dyna*, 77 (163), p. 47-54.
- Ribeiro, D.V. 2010. Influência da adição da lama vermelha nas propriedades e na corrosibilidade do concreto armado, 222p., Tese (Doutorado), Universidade Federal de São Carlos.
- Ribeiro, D. V., Labrincha, J.A., Morelli, M.R. 2012. Effect of the addition of red mud on the corrosion parameters of reinforced concrete, *Cement and Concrete Research*, 42 (1), p. 124-133.
- Ribeiro, D.V., Sales, A., Sousa, C.A.C., Almeida, F.C.R., Cunha, M.P.T., Lourenço, M.Z., Helene, P. 2013. *Corrosão em estruturas de concreto armado: Teoria, controle e métodos de análise*, 1ed, Elsevier, Rio de Janeiro, 244 p.
- Sales, A., Lima, S.A. 2010. Use of Brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement, *Waste Management*, 30 (6), p. 1114-1122.
- Sarmiento, M.F., Vanderlei, R.D. 2011. Estudo da durabilidade de concreto contendo cinza do bagaço da cana-de-açúcar. *Atas do 8º ENTECA*, Maringá.
- Shi, X., Yang, Z., Liu, Y., Cross, D. 2011. Strength and corrosion properties of Portland cement mortar and concrete with mineral admixtures, *Construction and Building Materials*, 25, p. 3245-3256.